

STEP 제품정보모델 시맨틱스의 컨셉추얼 모델링을 통한 상호운용성 확보

Conceptual Modeling of STEP Product Data Model Semantics for Interoperability

서원철*, 신승준**, 김광수*†

* POSTECH 산업경영공학과 정보시스템 연구실 ({wcseo, kskim†}@postech.ac.kr)

** POSTECH 산업경영공학과 e-Manufacturing 연구실 (head@postech.ac.kr)

초록

오늘날의 제품개발환경은 분산환경에 존재하는 다양한 역량을 가진 참여자들의 협업을 요구하고 있으며, 협업은 참여자들이 필요로 하는 제품개발관련 정보들의 실시간 교환을 지원할 수 있도록 제품 정보 간 상호운용성 확보를 기반으로 한다. STEP으로 알려진 ISO 10303은 제품개발의 전체적인 라이프사이클에서 필요한 제품정보의 표현과 공유 및 교환을 위한 대표적인 표준이다. 하지만 STEP을 이용하기 위해서는 각 도메인이 표준인 STEP 모델에 기반하여 제품정보를 모델링 하여야 한다. 그러나 대부분의 도메인은 자신의 목적에 따라 특화된 모델을 정의하고 사용하기 때문에 도메인에 특화된 형태의 제품정보모델을 STEP 모델로 변환할 수 있는 추가적인 메커니즘이 필요하다. 즉, STEP은 참조모델보다는 모든 도메인에서 제품정보모델링을 위해 사용가능한 표준의 정의에 초점을 맞춘다. 그러므로 참조모델로서의 STEP을 기반으로 다양한 도메인 특화된 제품정보모델 간 상호운용성 확보를 지원하기 위하여 본 논문에서는 STEP 제품정보모델의 시맨틱스를 체계적으로 정의할 수 있도록 온톨로지 구축을 통한 컨셉추얼 모델링을 수행한다. 컨셉추얼 모델링은 STEP 모델에 정확하고 완전한 의미를 부여하여, 다양한 도메인 특화된 모델 사이의 상호운용성 확보를 지원하고 참조모델로서 STEP의 능력을 확장한다.

수 있어 효율적인 협업적 제품개발환경을 구축할 수 있다.

하지만 제품정보모델은 복잡하고 다양한 특성을 가지고 있어 일반적인 모델링 언어로 표현하기에는 부족함이 있다. 또한 제품정보모델링을 위한 여러 관련 표준들이 제시되어 있지만 도메인의 다양한 요구를 충족시킬 수 있는 확장성이 부족하여 도메인 특화된 모델을 표현하기가 어렵다. Domain Specific Methodology(DSM)은 도메인 전문가에 의해 설계된 도메인의 특수성을 반영한 모델링 언어를 이용하여 모델의 효율적인 설계와 관리를 지원하고 모델의 일관성을 유지한다. 이와 같이 협업적 제품 개발환경을 구축하기 위하여 도메인 특화된 제품정보모델의 다양성을 극복하고 제품정보 간 상호운용성 확보를 지원할 수 있는 방법론이 필요하다.

제품정보의 원활한 흐름 확보를 기반으로 참여자들은 도메인 특화된 제품정보의 의미를 정확하고 완전하게 이해할 수 있어야 한다. 이러한 정보의 의미의 효율적인 이해를 지원하기 위하여 온톨로지(ontology)를 활용한 연구가 진행되고 있다 (Mizoguchi 1996). 온톨로지는 철학 용어로서 존재론의 의미로 사용되었지만 이와는 독립적으로 온톨로지 엔지니어링(ontological engineering) 분야에서는 다음과 같은 Gruber (1993)의 정의가 인정받고 있다 (Smith 2004).

"Ontology is a formal explicit specification of a shared conceptualization."

1. 서론

제품개발에서 급변하는 생산 환경에 능동적으로 대응하고 다양한 고객의 요구를 충족시키기 위하여 기업들 사이에 가치사슬(value chain) 형성을 통한 협업의 중요성이 증가하고 있다. 협업적 제품 개발(collaborative manufacturing)은 다양한 참여자들이 공동의 목표를 가지고 일관되게 프로세스를 운용할 수 있도록 지원함으로써 제품개발의 환경변화에 대한 민첩성을 향상시키고 궁극적으로 가치사슬의 경쟁력을 증강시킨다(MESA 2004). 협업적 제품 개발을 위해 가장 중요한 요소는 제품개발의 라이프사이클 전반에서 참여자들 간 제품정보의 원활한 흐름과 상호운용성(interoperability)을 확보하는 것이다. 참여자들 사이에 실시간으로 정보가 전달되고 공유되게 함으로써 제품개발 프로세스에서 발생가능한 지연요소를 제거하고 애플리케이션 시스템 간 동기화를 지원할 수 있다. 동기화를 통한 제품정보 간 상호운용성 확보를 바탕으로 모든 참여자들이 공동의 목표를 위하여 일관되게 프로세스를 운용할

온톨로지는 도메인에서 사용되는 컨셉(concept)을 중심으로 이들에 대한 정의 및 관계를 기술하여 정보의 재사용과 도메인 간 공유를 지원한다 (Uschold 1996). 온톨로지는 실제적인 구현환경에 독립적이고 도메인의 conceptualization을 명시하는 것이 목적이다. 컨셉추얼 모델(conceptual model)은 온톨로지의 실제적인 구현을 의미하지만 온톨로지 모델링을 통하여 컨셉추얼 모델을 구축할 수 있기 때문에 일반적으로 이들은 동일한 의미로 사용된다 (Welty 2001). 온톨로지는 도메인의 제품정보모델에 대한 시맨틱스(semantics)를 체계적으로 기술하기 때문에 모델이 지니는 의미를 명확하게 정의하여 애플리케이션 간 정보교환에서 발생할 수 있는 개념들 사이의 시맨틱 불일치 문제를 해결할 수 있도록 지원한다. Bittner (2005)는 시맨틱 불일치 문제해결을 위하여 온톨로지를 이용한 다음과 같은 2가지 타입의 방법을 소개한다; 1)모든 애플리케이션에서 표준으로 지정된 동일한 개념을 사용, 2)각 애플리케이션은 자신의 도메인에서 필요로 하는 개념들에

대해 논리 기반의 온톨로지를 구축하고 참조 온톨로지를 통해 이들 간 연계를 구성. 첫 번째 타입의 방법은 모든 애플리케이션이 동일한 표준에 따라 모델링을 수행하도록 제한하는 반면, 두 번째 타입의 방법은 온톨로지 참조를 통해 각 애플리케이션의 도메인 특수성을 반영할 수 있도록 지원하여 보다 유연한 모델링을 가능하게 한다.

온톨로지는 표현하는 내용의 추상화(abstraction) 레벨에 따라 크게 상위 온톨로지(upper ontology), 중위 온톨로지(mid-level ontology), 도메인 온톨로지(domain ontology)로 구분할 수 있다(Semy 2004). 상위 온톨로지는 기본적인 일반적이며, 도메인에 독립적인 개념들의 시맨틱스를 정의한다. 하위 레벨의 온톨로지는 상위 온톨로지에서의 정의한 일반적인 개념들을 이용하고 확장하여 구축된다. 상위 온톨로지는 한번 표준으로 정해지면 다른 많은 도메인 온톨로지에서도 재사용이 가능하고 상위 온톨로지에서도 정의된 개념을 이용한 부분에 대해서는 도메인 온톨로지 간 통합도 지원할 수 있어 시맨틱스 기반으로 모델 사이에서 상호운용성을 확보할 수 있는 기반이 된다.

Standard for the Exchange of Product model data(STEP)은 애플리케이션 간 제품정보의 효율적인 공유 및 교환을 위하여 표준 데이터 모델을 컨셉 정의와 함께 복합적으로 제시한다. STEP은 온톨로지를 명시적으로 제시하지 않지만 Bittner (2005)의 온톨로지를 이용한 시맨틱 일관성을 위한 방법 중 첫 번째 타입과 유사한 방식으로 모든 도메인들에서 동일한 표준을 사용하도록 제한한다. 하지만 각 애플리케이션은 도메인의 다양한 요구를 충족시킬 수 있도록 도메인에 특화된 형태로 제품정보모델을 기술한다. 그러므로 다양한 도메인 특화된 제품정보모델 간 상호운용성을 확보하고 유연한 모델링을 지원하기 위하여 STEP은 두 번째 타입의 방법에 따른 참조모델로서의 역할을 수행할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 급변하는 제품개발환경에 능동적으로 대응하고 도메인 간 협업을 지원할 수 있도록 다양한 도메인 특화된 제품정보모델 간 상호운용성 확보를 위하여 STEP 모델의 컨셉들에 대한 논리 기반의 온톨로지를 상위 온톨로지 기반으로 구축함으로써 참조모델로서 STEP의 역할을 강화한다. 추상화 레벨에 따른 체계화된 계층적 온톨로지(layered ontology)는 빠르고 효율적으로 STEP 온톨로지 뿐 아니라 각 도메인의 온톨로지 구축을 지원하고 온톨로지들 간 통합도 지원한다. 참조모델로서 STEP 온톨로지와 여러 도메인 특화된 모델의 온톨로지 간 연계를 지원함으로써 다양한 제품정보모델 사이에서 상호운용성을 확보할 수 있고 협업적 제품개발환경 구축을 지원할 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서 관련된 기존 연구를 소개하고, 3절에서는 STEP의 전반적인 내용과 온톨로지 엔지니어링의 접목을 통한 STEP의 참조모델로서의 역할에 대해 설명한다. 4절에서는 STEP 참조모델을 기반으로 다양한 도메인 특화된 제품정보모델 간 상호운용성 확보를 지원하기 위한 초기시도로서 STEP 모델의 일부분에 대한 온톨로지를 구축하여 컨셉추얼 모델링을 수행한다. 5절에서 본 논문을 마무리하고 향후 연구과제에 대해 논의한다.

2. 기존 연구

기존의 많은 연구들은 제품정보 간 상호운용성 확보를 위하여 모든 애플리케이션 도메인에서 사용되는 제품정보와의 변환을 지원할 수 있는 표준의 정의에 초점을 맞추고 있다. 이러한 대표적인 표준으로 솔리드 모델의 데이터를 위한 International Organization for Standardization(ISO) 10303이 있다. STEP으로 알려진 ISO 10303은 제품개발의 전체적인 라이프사이클에서 필요한 관련 정보의 공유를 가능하도록 중립적 파일 포맷형태를 제시하며, source-to-neutral / neutral-to-target과 같이 2-stages 기반으로 제품정보 교환을 수행하도록 지원한다(Pratt 2001). STEP은 제품 자체와 제품개발 라이프사이클의 모든 측면을 포함하여 가치사슬 내에서 제품정보모델의 표현과 교환을 지원함으로써 기업의 수직적 통합과 수평적 통합을 모두 지원할 수 있는 핵심 기술로 인정받고 있다(Kern 1997). 하지만 STEP은 bottom-up 기반으로 구축되기 때문에 다양한 제품정보모델들 사이에서 중복과 호환성 문제가 발생할 수 있으며, 제품정보정의의 복잡하고 많은 양의 문서들은 사용자들이 이해하고 사용하기 어렵게 한다(Laurance 1994). Liu (2000)는 이러한 이해를 돕고 STEP 모델의 명료성을 증가시킬 수 있도록 그래픽 기반의 도구가 필요함을 제안한다. 그러나 급변하는 제품개발환경에 능동적으로 대응하고 제품정보의 원활한 흐름 및 상호운용성을 확보하기 위해서는 제품정보모델의 공유와 교환이 사람의 개입 없이 자동으로 이루어질 수 있어야 한다. 애플리케이션 시스템들 사이에서의 자동화된 제품정보 모델 공유를 통해 가치사슬 내 참여자들의 공동목표를 위한 빠르고 효율적인 의사결정을 지원할 수 있기 때문이다.

STEP은 응용 프로토콜(Application Protocols:AP)을 통해 다양한 제품정보모델의 타입을 분류하여 기술한다. AP는 특정 제품에 대해 라이프사이클 전반에서 관련된 정보를 정의하는 체계적인 명세로서 STEP의 핵심 부분이다(Pratt 2001). 제품정보관리의 효율을 높이고 다양한 AP 사이의 상호운용성을 확보하기 위하여 PDES Inc.과 ProSTEP은 STEP Product Data Management(PDM) Schema를 제시한다(PDM-IF 2002). STEP PDM Schema는 여러 AP의 제품정보구조와 정보교환을 위한 요구사항의 공통부분을 기술함으로써 AP 사이의 상호운용성 확보를 지원하는 참조모델이다. 하지만 도메인 특화된 모델과의 상호운용성 확보를 지원하기에는 부족함이 있다.

Product Lifecycle Management(PLM) Services는 ProSTEP iViP 연합의 eXtended Product Data Integration(XPDI) 프로젝트의 결과물로서 PLM 시스템에 대한 접근을 기반으로 정보교환을 지원하는 표준이다(Feltes 2005). PLM Services는 Model Driven Architecture(MDA)에 따라 STEP AP 214의 구조를 따르는 데이터모델을 Platform Independent Model(PIM)과 실제 웹 서비스 환경에서 구동될 수 있도록 Platform Specific Model(PSM)형태로 정의한다. 각 PLM 시스템에 대한 접근을 통해 가치사슬 내 참여자 간 제품정보 공유 기반의 의사소통을 지원함으로써 공동의 목표를 가지고 일관되게 프로세스를 운용할 수 있다. 하지만 이러한 PLM Services의 목표를 실현하기 위해서는 시스템에서 사용하고 정의하는 제품정보모델의 의미를 시맨틱스 기반으로 모든 참여자들이 이해할 수 있도록 지원하는 방법론이 추가로 필요하다. 왜냐하면 PLM Services를

통해 각 시스템에 대한 접근능력을 확보하고 제품 정보모델을 서로 교환하더라도 도메인 특화된 모델의 정확한 의미를 파악하기 위해서는 각 모델의 시맨틱스를 이해할 수 있어야 하기 때문이다.

시맨틱스 기반으로 일반적인 모델 간 공유 및 교환을 지원하기 위하여 최근 많은 연구들은 온톨로지 정의와 이들 간 통합에 초점을 맞추고 있다. Roser (2005)는 일반적인 모델 간 변환을 지원하기 위하여 메타모델에 대한 시맨틱스를 정의하는 온톨로지 기반의 방법론을 제시한다. 이 방법론은 메타모델의 온톨로지 간 변환을 통해 메타모델 사이의 변환을 구성하고 이를 바탕으로 모델을 변환하는 과정으로 구성된다. 하지만 전체적인 프레임워크만 제시할 뿐, 온톨로지 간 통합의 구현방법과 메타모델과 온톨로지 간의 바인딩 방법에 대해서는 제시하지 않고 있다. Noy (2004)는 시맨틱스 통합을 지원하기 위한 방법을 휴리스틱 기반과 여러 도메인에서 공유 가능한 상위 온톨로지 기반으로 구분하고 이를 구현하는 여러 방법론에 대해 소개한다.

Process Specification Language(PSL)는 다양한 애플리케이션 도메인 사이에서 제품생산과 관련된 프로세스 전반에서 필요로 하는 정보의 공유를 위한 중립적 포맷을 정의하는 명세서로 최근버전은 2.1이다(Schlenoff 2000). 기존의 프로세스 표현을 위한 노력들은 주로 프로세스 정의를 지원하는 문법적(syntax) 측면에 초점을 맞추어 애플리케이션의 다양성에 의한 모델의 의미적 차이로 인한 정보해석의 모호함과 불일치를 발생시킨다(Knutilla 1998). 이러한 문제점을 극복하고 교환되는 정보의 의미를 시맨틱스 기반으로 완전하고 정확하게 이해할 수 있도록 PSL은 온톨로지를 정의한다. 제품정보모델링을 위한 표준인 STEP에서도 이와 같은 시맨틱 불완전성을 해소하기 위하여 온톨로지 정의가 필요하다.

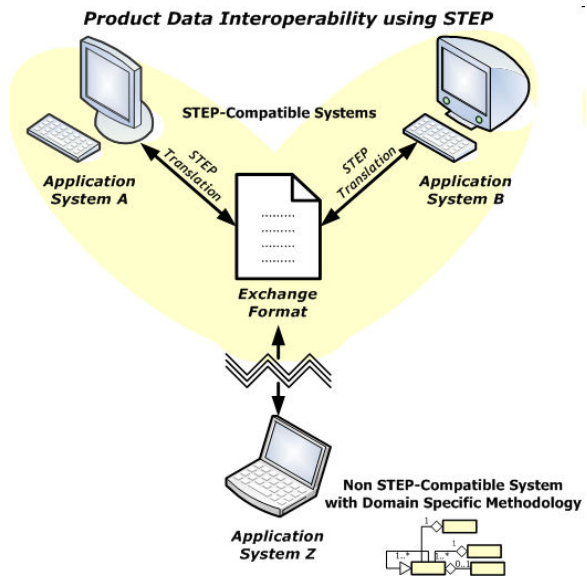
Semy (2004)는 추상화의 레벨에 따라 온톨로지를 3가지 계층으로 나누며 각 도메인 온톨로지는 상위 온톨로지를 기반으로 구성되어 도메인 온톨로지 사이의 변환을 지원하도록 한다. IEEE Standard Upper Ontology Working Group(SUO WG)은 상위 온톨로지 표준 정의를 주도하는 그룹으로서 대표적으로 Suggested Upper Merged Ontology(SUMO)와 Upper Cyc Ontology(UCO) 등이 있다(Semy 2004). SUMO는 데이터의 상호운용성과 올바른 정보검색 및 추론을 지원하기 위한 목적으로 기존에 제시된 다양한 상위 온톨로지들의 병합을 통해 개발되었다(Nichols 2003). Cyc 온톨로지는 다양한 도메인에서의 문제해결 및 지식추론을 지원하기 위하여 지식베이스 구축을 목적으로 개발되었다(Matuszek 2006). Cyc 온톨로지도 일반화(generality) 레벨에 따라 3가지 계층으로 나누며 UCO는 일반적이고 추상적인 개념들의 구조적 모델을 제시하여 Cyc 온톨로지 전반에서 참조된다.

STEP은 제품개발의 전체적인 라이프사이클에서 필요한 관련 정보의 표현과 공유 및 교환을 지원하는 표준이다. 하지만 도메인 특화된 모델과의 상호운용성을 확보하기 위해서는 제품정보모델의 시맨틱 불완전성을 해결해야 한다. 이러한 시맨틱 불완전성을 해소하고 유연한 모델링을 지원함으로써 STEP의 참조모델로서의 능력을 확장하기 위하여 본 논문에서는 STEP 모델에 대한 논리 기반의 온톨로지를 구축함으로써 컨셉추얼 모델링을 수행한다. 이는 다양한 제품정보모델 간 상호운용성 확

보를 지원하고 궁극적으로 가치사슬 내에서의 효율적인 협업적 제품개발환경 구축을 위한 기반이 된다.

3. STEP

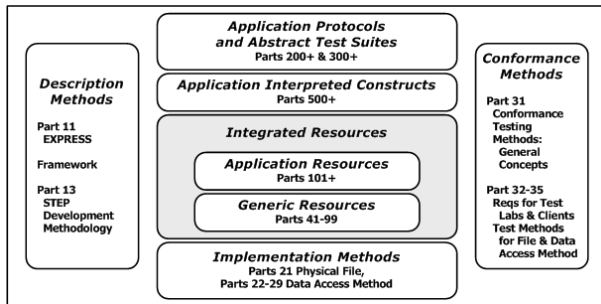
제품정보 간 공유와 교환을 지원하기 위하여 지난 수십 년간 많은 노력들이 있어왔다. 대표적으로 Initial Graphical Exchange Specification(IGES)는 다양한 Computer-Aided Design(CAD) 시스템들 사이의 형상 및 도면정보에 대한 교환에 초점을 둔다. 하지만 IGES는 문법 요소들에 대한 체계적인 시맨틱스가 부족하여 시스템들 사이에서 의미를 포함한 정보교환을 지원하지 못한다(Laurance 1994). STEP은 IGES의 단점을 극복하고 형상정보는 물론 제품의 라이프사이클 전반에서 필요로 하는 제품정보의 표현 및 교환을 지원하기 위한 표준으로 데이터가 지니는 의미와 서로 간의 관계를 정의한다(Kemmerer 1999). STEP은 중립적 파일 포맷형태를 제시함으로써 2-stages 기반 제품정보교환을 지원하며 이는 애플리케이션 시스템들 사이의 개별적 point-to-point 변환을 요구하지 않아 효율적인 제품정보교환을 지원한다(Pratt 2001). 하지만 각 시스템은 자신의 필요에 의한 도메인 특화된 모델을 정의하고 사용하기 때문에 STEP 모델과 이들 간 자동적 변환을 지원하여 참조모델로서 STEP을 이용하기 위해서는 모델의 시맨틱스를 정의하는 온톨로지가 필요하다. [그림.1]은 STEP 표준 포맷을 주축으로 다양한 애플리케이션 간 제품정보의 교환과정에서 STEP 표준을 따르거나 이들 간 변환이 가능한 경우의 모습과 도메인 특화된 모델의 시맨틱 불일치 문제에 의한 호환성 문제를 함께 보여준다. 모든 제품의 라이프사이클 전반에서 필요로 하는 제품정보를 표현하는 STEP의 표준으로서의 능력은 우수하지만 보다 유연한 모델링을 지원하고 다양한 도메인 특화된 모델과의 상호운용성을 위한 참조모델로서의 능력은 부족한 편이다.



[그림.1] 도메인 특화된 모델과 다양한 STEP 호환적 모델 간 상호운용성 문제

3.1. STEP의 구조

STEP은 제품정보 표현과 공유 및 교환의 표준 개발을 지원한다. [그림.2]에서 볼 수 있듯이 STEP은 데이터 구조를 명확하게 기록할 수 있는 EXPRESS와 같은 서술방법(Description Methods), 서술방법에 의해 정의된 데이터 구조를 이용하여 실제 구현이 이루어지도록 지원하는 구현방법(Implementation Methods), 구현의 정도를 평가하는 적합성 시험(Conformance Testing), 그리고 통합자원(Integrated Resources:IR), 응용 프로토콜(Application Protocols:AP), 응용 해석 구조체(Application Interpreted Constructs) 등으로 이루어지며 이들을 서술방법을 이용하여 문서화한 데이터 명세이다.



[그림.2] STEP의 구조

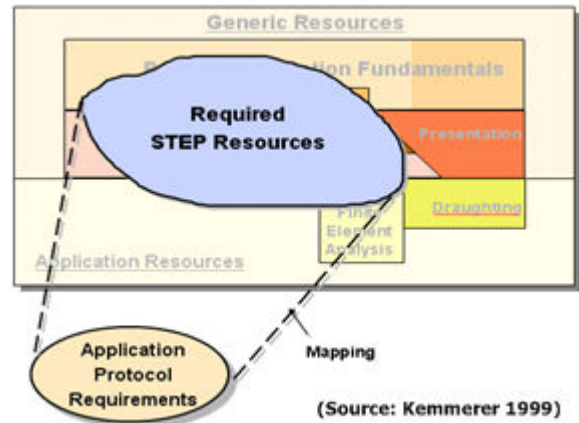
IR은 일반 통합자원(Generic Resources)과 응용 통합자원(Application Resources)으로 구성되며 모든 제품의 라이프사이클 단계에서 제품의 기술이 가능하도록 공통적으로 사용되는 기본적인 시맨틱 요소를 기술한다. AP 개발 시 IR 중 필요요소를 선택하여 사용하지만 직접 구현에는 사용되지 않는다. 이는 응용분야에 의존하지 않고 재사용이 가능하도록 독립성을 보장하기 위함이다(Kemmerer 1999). AP는 특정 응용분야의 제품정보 필요성을 만족하고 구현 가능하도록 문서화된 데이터 명세이다. AP는 크게 특정 집합에 의해 특정 응용분야에 대한 유효범위 및 관심 프로세스를 정의한 응용활동모델(Application Activity Model:AAM), AAM으로부터 필요 정보요소들을 정의하는 응용참조모델(Application Reference Model), 그리고 ARM을 통해 도출된 정보 요구조건을 만족하기 위해 IR의 사용 또는 새로운 정보요소를 정의하여 단일화된 정보모델로 정의하는 응용해석모델(Application Interpreted Model:AIM)로 구성된다.

구현레벨에서의 제품정보공유를 지원하고자 ISO 10303 Part 22는 Standard Data Access Interface(SDAI)를 정의한다. SDAI는 Application Programming Interface(API)를 제공함으로써 특정 프로그래밍 언어와는 독립적으로 STEP의 서술방법인 EXPRESS로 표현된 데이터에 대한 표준 접근 메커니즘을 정의한다. 이는 각 애플리케이션을 데이터의 저장 및 관리를 위한 소프트웨어로부터 분리시키며 이들 간 연계를 지원한다. 하지만 데이터에 대한 접근과 처리가 시맨틱스에 기반하지 않기에 공유되고 교환된 데이터의 의미를 여러 다른 애플리케이션에서 정확하고 완전하게 이해하기는 어렵다.

3.2. STEP과 온톨로지 엔지니어링

STEP은 제품정보와 관련된 데이터의 효율적인

모델링과 관리를 지원하기 위하여 추상화를 통한 계층적 접근법을 취한다. 일반적으로 프로세스 모델은 activity들의 흐름으로 구성되며 각 activity는 세분화(decomposition)가 가능하여 보는 관점에 따라 모델을 재구성하고 관리의 효율을 높일 수 있지만 제품정보를 위한 데이터 모델은 세분화가 어렵기 때문이다(Kemmerer 1999). 계층적 접근은 다양한 도메인에서 사용되는 엔터티의 재사용과 영역 내에서 필요한 의미적 구분을 지원한다. 이러한 계층적 접근을 위하여 기본의미를 정확한 의미까지 정제하는 IR이 제시되었다. IR은 다수의 응용분야에서 AP의 일관된 개발을 지원하는 응용분야와는 독립된 표준 데이터 명세이며 다양한 응용분야의 요구에 맞추어 AP 내에서 결합되고 수정된다. [그림.3]과 같이 각 AP는 요구에 따라 필요로 하는 시맨틱 요소를 IR로부터 참조한다. 그러므로 IR은 제품정보의 재사용이 가능한 컨셉추얼 모델로서 AIM 개발 시 온톨로지의 역할을 수행한다(Liu 2000). 예를 들어, *face_bound*는 일반 통합자원의 부분인 ISO 10303 Part 42에 정의된 컨셉추얼 모델 요소이다. AP 203에서는 제품을 구성하는 형상을 표현하기 위하여 boundary representation 구조를 정의하며 이를 구현하기 위한 하나의 위상정보(topology)로서 *face_bound*를 참조하여 사용한다.



[그림.3] IR을 통한 STEP 자원 기반의 일관된 AP 개발

3.3. EXPRESS와 온톨로지 기술

IR은 STEP의 서술방법인 EXPRESS를 이용하여 기술되고 자연어를 통해 관련된 내용을 설명한다. EXPRESS는 제품정보를 기술하기 위한 데이터 모델링 언어로서 다음과 같은 4가지 기본적인 목적을 가지고 설계되었다(ISO 1994).

- STEP은 매우 복잡하고 큰 규모이기 때문에 컴퓨터와 사람 모두 데이터 모델을 문법적, 의미적으로 이해할 수 있어야 한다.
- 다양한 STEP의 부분들을 구별하여 관리하고 상호 간의 호환성 보장을 지원할 수 있어야 한다.
- 도메인의 엔터티와 특성 부여를 위한 attribute 중심으로 데이터 모델을 기술하며 제약조건과 규칙 등을 통해 엔터티 정의를 지원할 수 있어야 한다.

- 특정 프로그래밍 시스템이나 구현방법과는 독립적이지만 실제 구현시스템으로의 변환이 자동적이고 쉽게 이루어져야 한다.

다양한 CAD 시스템 및 도메인들 간 제품정보의 공유와 교환을 지원하고자 하는 STEP의 목표를 달성하기 위해서는 모든 참여자가 정보의 의미에 합의할 수 있도록 견고한(robust) 형식적 모델을 정의할 수 있어야 한다. EXPRESS는 체계적인 데이터 모델링 방법론으로서 기존의 모델링 언어들에 비해 컴퓨터 및 사람에 대한 쉬운 이해 제공, 유연성, 사용의 편의성 그리고 제약조건 지정의 용이성 등의 능력을 제공함으로써 STEP의 효율적인 개발을 지원한다(Kemmerer 1999). 하지만 EXPRESS는 객체 지향적이며 서술적인 측면의 언어 명세로써 체계적인 온톨로지를 정의하기에는 부족한 점이 있다. 우선 온톨로지의 개념과 관계를 일관되고 모호하지 않게 나타내기 위해서는 논리 기반으로 정의하여야 한다(Heflin 2004). 일차논리(first-order logic:FOL)는 subject와 predicate에 대한 명확한 구분을 두어 표현 능력에 제한을 가하는 대신 복잡한 정보에 대한 견고한 추론(reasoning)능력을 부여한다(Simpson 1999). Corcho (2000)에 따르면 언어의 표현능력과 추론능력은 상충관계를 가지지만 대부분의 모든 논리적인 표현은 FOL로 표현 가능하기 때문에 제품정보모델을 위한 온톨로지는 FOL에 기반하는 것이 적절하다. EXPRESS에서도 제약조건 및 규칙을 표현할 수 있지만 논리 기반이 아니기 때문에 이를 기반으로 새로운 정보를 자동적으로 추론해내기 위해서는 추가적인 절차가 필요하며 각 엔터티들의 정의가 자연어 기반으로 이루어져 있다. 또한 EXPRESS는 객체 지향적 접근법을 취한다. Halpin (1999)은 사실 지향적(fact-oriented) 언어인 Object Role Modeling(ORM)과 객체 지향적인 Unified Modeling Language(UML) 클래스 다이어그램(class diagram)을 이용하여 온톨로지를 표현하는 경우에 대해 컨셉추얼 모델링 언어 평가를 위한 기준에 따라 비교 분석한다. 가장 큰 차이는 사실 지향적 언어가 attribute의 변화에 대해 시맨틱 안정성이 높다는 것이다. 온톨로지는 시간의 흐름에 따라 수시로 변하기 때문에 객체 지향적 모델링 언어를 이용하는 경우 attribute로 정의된 특정 엔터티가 온톨로지의 변화에 따라 클래스로 수정되어 정의될 필요가 있을 수 있다(Halpin 1999). 하지만 이러한 변화를 매번 반영하고 온톨로지를 수정해 나간다는 것은 매우 어려운 일이다. Attribute의 변화는 엔터티와 관련된 검색 및 제약조건 등에도 영향을 미치기 때문이다. 그러므로 객체 지향적 모델링 언어를 사용하는 경우에는 처음 온톨로지 설계 단계에서 엔터티를 클래스로 정의할 것인지 또는 attribute로 정의할 것인지에 대해 확고한 판단을 내릴 수 있어야 하지만 온톨로지의 가변성은 이러한 판단을 방해한다.

이와 같이 EXPRESS는 제약조건에 기반하여 효율적으로 제품정보를 표현할 수 있는 능력을 지녔지만 다양한 목적으로 사용되기 위해서는 변화가 필요하다. 대표적으로 ISO는 EXPRESS 스키마와 eXtensible Markup Language(XML) 사이의 바인딩을 위한 표준을 정의한다. XML은 여러 시스템들 사이에서 데이터의 공유를 웹 기반으로 용이하게 지원하기 위하여 개발되었으며 현재 많은 비즈니스에서 기반기술로서 활용되고 있다. XML의 확장성은 도메인에 한정되지 않고 다양한 종류의 데이터를 기

술할 수 있다. 이러한 XML의 유연성을 기반으로 제품정보공유의 능력을 확장하고자 ISO 10303 Part 28은 EXPRESS 스키마를 XML로 표현할 수 있도록 지원한다(Lubell 2004). XML의 사용은 STEP 인스턴스의 표현력을 증가시키고 다양한 XML 도구의 지원 및 XML 기반의 웹 서비스를 이용한 제품정보 교환 등 다양한 장점을 제공한다.

제품정보의 표현과 공유 및 교환을 위한 표준으로서 STEP의 궁극적 목표를 달성하기 위해서는 서술방법인 EXPRESS와 다양한 목적의 언어들 간의 바인딩이 필요하다. 하지만 본 논문에서는 STEP의 온톨로지 정의를 위하여 기존의 온톨로지 언어를 사용하며 이들과 EXPRESS 간의 바인딩은 고려하지 않는다.

4. STEP 시맨틱스의 컨셉추얼 모델링

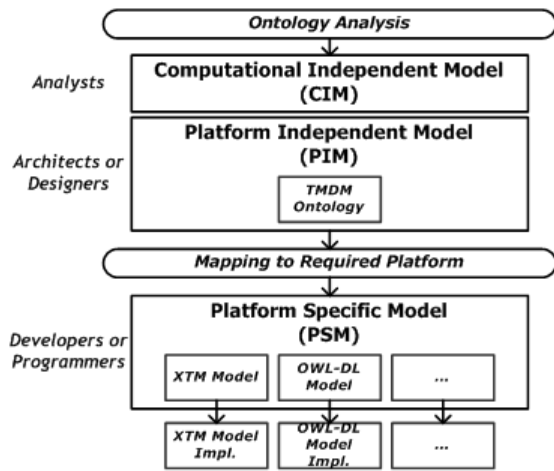
참조모델로서 STEP을 통해 다양한 도메인 특화된 모델 간 상호운용성 확보와 유연한 모델링을 지원할 수 있다. STEP 참조모델은 다양한 도메인 모델과의 시맨틱 일관성을 유지할 수 있어 자동적인 변환을 지원할 수 있고 2-stages 기반으로 제품정보교환을 수행하고자 하는 STEP의 궁극적 목표를 달성할 수 있기 때문이다.

4.1. 컨셉추얼 모델링 언어

온톨로지 구축을 위한 많은 종류의 언어와 도구가 존재하며 이들의 비교분석을 위한 여러 연구가 수행되어 왔다(Corcho 2000, Su 2002). 이러한 온톨로지 구축을 위한 다양한 언어 중에서 현재 ISO의 Topic Maps(ISO/IEC 2002)와 W3C의 Web Ontology Language(OWL)(W3C 2004)가 대표적인 표준으로 인정받고 있다. 이들은 같은 목적을 가진 언어로써 XML 기반의 문법구조를 정의하는 등 많은 부분 유사한 면이 있지만 초점을 두는 부분이 서로 다르다(Cregan 2005). Topic Maps는 정보자원에 대한 메타맵(meta-map)을 제공함으로써 사용자에게 정보탐색을 지원한다. 또한 사람의 이해를 높이는 것에 초점을 두어 subject 사이의 관계를 중심으로 높은 표현력을 지니는 반면 추론능력은 떨어진다. OWL은 시맨틱 정보에 대한 기계의 이해를 지원하는 것에 초점을 두어 사용목적에 따라 표현능력의 제한을 기반으로 OWL-Lite, OWL-DL, OWL-Full과 같은 3가지 언어를 제공한다. OWL-DL은 Description Logic(DL) 시맨틱스를 가지는 것으로 계산학적 완전성(computational completeness)과 결정가능성(descidability)을 유지하면서 최대의 표현력을 제공한다. 완전성은 모든 결론이 계산될 수 있다는 것을 의미하며, 결정가능성은 모든 계산이 유한한 시간 내에 완료될 수 있음을 말한다.

최근 들어 독립적으로 발전되어 온 여러 언어들 간의 복합적 접근을 통한 온톨로지 정의를 위한 노력들도 활발히 진행되고 있다. 대표적으로 Cregan (2005)은 Topic Maps 온톨로지를 구축하기 위하여 Topic Maps Data Model(TMDM)을 OWL-DL로 표현할 수 있는 방법을 제안한다. 이러한 방법론을 통해 Topic Maps 온톨로지를 구축하는 사용자는 OWL-DL의 제약조건 표현, 제약조건 기반의 온톨로지 유효성 검사, 자동적인 추론 및 검색, 그리고 온톨로지의 시각화 등의 장점과 이를 지원할 수 있는 도구의 도움을 받을 수 있다(Cregan 2005). 또한 Cregan (2005)에서는 언급되지 않았지만 Model

Driven Architecture(MDA) 접근법에 따라 온톨로지 모델변화와 시스템 인프라의 변화에 유연하게 대응할 수 있다. MDA는 메타모델을 기반으로 Platform Independent Model(PIM)과 Platform Specific Model(PSM)을 분리함으로써, 모델개발과 관리의 유연성과 효율성을 높인다(OMG 2001). [그림.4]와 같이 TMDM 온톨로지 모델을 PIM으로 정의하고 이에 대한 PSM 모델을 Topic Maps의 XML 문법인 XML Topic Maps(XTM)나 OWL-DL을 이용하여 정의한다. 이러한 복합적 접근법은 TMDM의 사실 지향적인 기본 원리를 기반으로 시맨틱 변화에 대한 안정성을 높일 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 복합적 접근법을 통해 STEP 모델의 컨셉들에 대한 논리 기반의 온톨로지를 구축한다.



[그림.4] MDA 접근법에 따른 OWL-DL 기반의 TMDM 온톨로지 모델 구축

4.2. 컨셉추얼 모델링

Uschold (1996)는 온톨로지 구축을 위한 단계적인 방법론을 제시한다. 이 방법론에 따라서 STEP 제품정보모델의 시맨틱스를 기술하는 온톨로지를 구축한다. 참조모델로서 STEP의 능력을 확보하기 위해서는 STEP의 모든 범위에서 온톨로지 구축을 통한 컨셉추얼 모델링이 수행되어야겠지만 본 논문에서는 통합자원인 ISO 10303 Part 42의 작은 부분에 대해서만 온톨로지를 구축한다. ISO 10303 Part 42는 기하학적인 위상정보 표현을 위해 사용되는 통합자원을 기술한다(ISO 2000).

4.2.1. 목적과 범위

첫 단계로써 구축할 온톨로지의 사용목적과 의도된 사용자의 범위 등을 구체화한다. STEP의 계층적 접근법에서 IR은 다양한 AP의 일관된 개발을 지원하는 재사용이 가능한 약식의 컨셉추얼 모델이다. 이는 AP 정의에서 일반적인 개념들의 중복을 방지하고 서로 간의 상호운용성을 확보하기 위한 기반이 된다. 그러므로 각 AP에서 IR에 정의된 개념을 효율적으로 사용하도록 지원하기 위하여 IR에 대한 체계적인 시맨틱스를 기술하는 온톨로지를 구축한다. 또한 구축될 온톨로지는 STEP에 따르지 않는 다양한 도메인 특화된 모델을 STEP으로 변환할 수 있도록 지원한다. 이는 중립적 파일 포맷을 제시하는 STEP을 참조모델로서 이용하도록 지원하여

다양한 도메인 특화된 모델 간 2-stages 변환을 통한 상호운용성 확보의 기반이 된다. 하지만 IR에서는 여러 AP에서 다양하게 사용되는 자원의 재사용을 위한 것으로 제품정보모델링을 위한 모든 요소를 포함하지는 않는다. 그러므로 도메인 특화된 모델 간 상호운용성을 확보하기 위해서는 IR 외에도 모든 제품개발의 전체적인 라이프사이클에서 필요한 관련 정보에 대한 이해를 지원할 수 있도록 STEP 전부분에 대한 컨셉추얼 모델링을 수행하여야 한다. 이는 참조모델로서 STEP의 목표를 달성하기 위한 근본적이며 중요한 기반이 된다.

4.2.2. 핵심 요소 파악

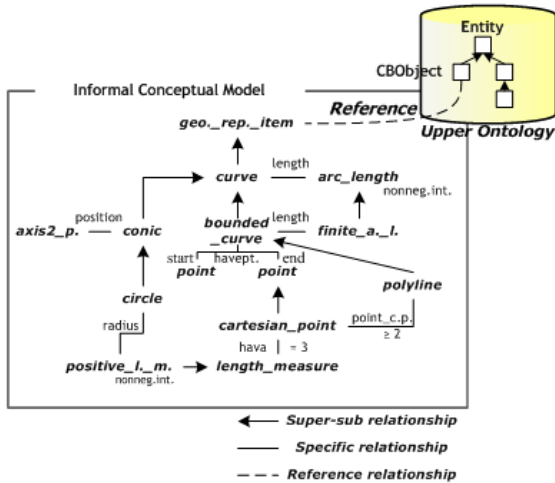
이 단계에서는 온톨로지의 핵심 컨셉과 관계를 정의하고 이에 대한 설명을 자연어 기반으로 기술한다. 온톨로지의 범위를 ISO 10303 Part 42의 일부분으로 한정하였기 때문에 범위 내에 존재하는 핵심 컨셉과 관계를 Part 42를 참조하여 기술한다. 다음은 그 일부분을 나타낸다. 사실 지향적 메커니즘에 따라 핵심 요소들은 관계를 중심으로 설명된다.

핵심 요소

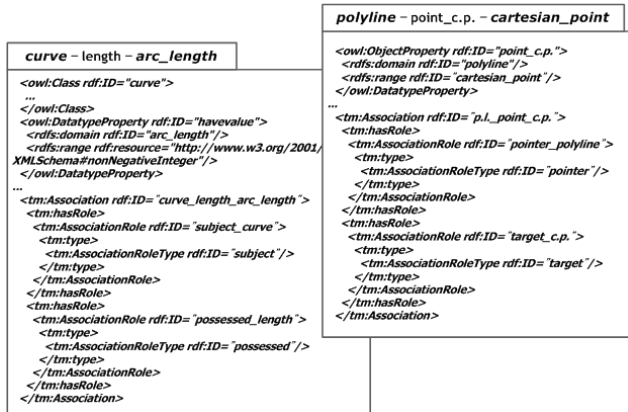
- Every concept is a *topic*
- An *association* is a relationship between one or more *topics*
- A *topic* can be made up of sub-topics and correspondingly a *topic* can have a super-topic
- The *Space Dimensionality* is the number of parameters required to define the location of a *point* in the *coordinate space*
- A *geometric_representation_context* is a *representation_context* in which *geometric_representation_items* are *geometrically founded*
- A *geometric_representation_item* is a *representation_item* that has the additional meaning of having geometric position or orientation or both
- A *curve* can be envisioned as the *path* of a *point* moving in its *coordinate space*
- A *surface* can be envisioned as a set of *connected points* in 3-dimensional space which is always locally 2-dimensional, but need not be a manifold

4.2.3. 논리 기반 언어를 이용한 모델링

자연어 기반의 온톨로지는 의미의 모호성에 의해 다양한 도메인 간 상호운용성 확보를 방해한다. 그러므로 이 단계에서는 앞 단계에서 구축된 핵심 요소들을 이용하여 논리 기반의 체계적인 온톨로지를 구축한다. 이는 시맨틱스 서술을 통해 모델 간 상호운용성 확보를 지원하는 기반이 된다. 온톨로지는 4.1절에서 언급한 것과 같이 사실 지향적인 TMDM을 표현하는 OWL-DL 언어를 기반으로 모델링 한다. 또한 온톨로지 구축의 효율성을 높이기 위하여 상위 온톨로지인 SUMO를 참조한다. [그림.5]는 상위 온톨로지 기반의 온톨로지 내 컨셉, 컨셉들 간의 관계 그리고 필요한 여러 제약조건들을 특별한 형식 없이 간단하게 표현한다. 이러한 약식의 컨셉추얼 모델을 논리 기반으로 모델링 한 결과는 [그림.6]에서 표현된다.



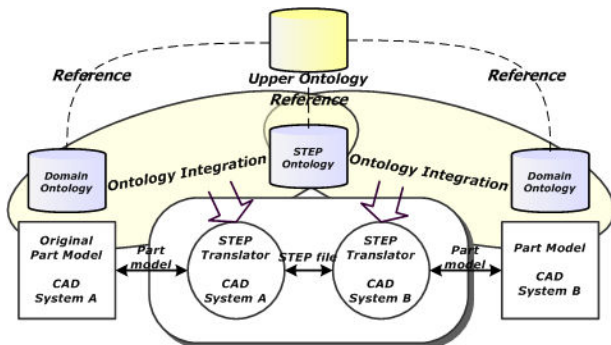
[그림.5] 온톨로지 내 컨셉, 관계 및 제약조건인 단순 모형



[그림.6] STEP 모델의 컨셉추얼 모델링

4.3. 컨셉추얼 모델 기반의 상호운용성 확보

Kemmerer (1999)는 표준으로써 STEP의 능력을 설명하기 위하여 다양한 애플리케이션 사이에서 제품정보 간 상호운용성을 확보할 수 있는 과정을 보여준다. 이러한 과정 중, 본 논문에서 제시하는 STEP 컨셉추얼 모델의 역할은 [그림.7]과 같다. 참조모델로서 STEP을 이용할 수 있도록 STEP 모델의 체계적인 시맨틱스를 제공하여 도메인 온톨로지와의 통합을 기반으로 다양한 도메인 특화된 제품정보모델 간 교환 및 공유를 지원할 수 있다.



[그림.7] 참조모델로서 STEP 기반의 제품정보모델 간 상호운용성 확보

5. 결론

급변하는 생산 환경에 민첩하게 대응하고자 협업을 위한 가치사슬을 형성하고 가치사슬 내 도메인 사이에서 제품정보 간 상호운용성 확보를 위한 노력이 진행되어왔다. 기존의 많은 연구들은 모든 애플리케이션 도메인에서 사용되는 제품정보와의 변환을 지원할 수 있는 표준의 정의에 초점을 맞추고 있으며 대표적으로 STEP이 제시되었다. 하지만 대부분의 도메인은 자신의 목적에 따라 특화된 모델을 정의하고 사용하기 때문에 도메인에 특화된 형태의 제품정보모델을 STEP 모델로 변환할 수 있는 추가적인 메커니즘이 필요하다. 그러므로 본 논문에서는 다양한 도메인 특화된 모델 간 상호운용성 확보를 지원하기 위하여 STEP 제품정보모델의 시맨틱스를 체계적으로 정의할 수 있도록 논리 기반의 온톨로지 구축을 통한 컨셉추얼 모델링을 수행한다. 컨셉추얼 모델링은 STEP 모델에 정확하고 완전한 의미를 부여하여, 다양한 도메인 특화된 모델 사이의 상호운용성 확보를 지원하고 참조모델로서 STEP의 능력을 확장한다.

본 논문은 STEP 모델의 컨셉추얼 모델링을 위한 초기시도로서 IR인 ISO 10303 Part 42의 일부분을 위한 온톨로지를 구축하였다. 하지만 IR은 다양한 AP에서 참조하는 시맨틱 요소를 정의하기 때문에 STEP 제품정보모델의 체계적인 시맨틱스를 통한 참조모델의 완전한 능력을 부여하기 위해서는 IR 뿐 아니라 모든 STEP 제품정보모델에 관여되는 컨셉에 대한 모델링이 필요하다. 그러므로 제품정보모델 간 상호운용성 확보를 위한 참조모델로서 STEP을 이용할 수 있도록 향후 STEP 전 분야에 필요한 컨셉추얼 모델링을 수행하는 연구가 필요하다.

참고문헌

Bittner, T., Donnelly, M. and Winter, S. (2005), *Ontology and Semantic Interoperability, Large-scale 3D data integration: Problems and challenges*, CRCpress (Taylor & Francis)

Corcho, O. and Gomez-Perez, A. (2000), *A Roadmap to Ontology Specification Languages, Proceedings of the 12th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKAW 2000)*, Juan-les-Pins, France, October 2-6

Feltes, M. (2005), *PLM Services - a Standard to Implement Collaborative Engineering, Daimler Chrysler Research* Online available at <http://www.prostep.org/file/17050.intro>

Gruber, T. R. (1993), *A translation approach to portable ontology specifications, Knowledge Acquisition*, 5(2), 199-220

Halpin, T. and Bloesch, A. (1999), *Data modeling in UML and ORM: a comparison, Journal of Database Management*, 10(4), Idea group Publishing Company, Hershey, USA, 4-13

Heflin, J. (2004), *OWL Web Ontology Language Use Cases and Requirements, W3C Recommendation*, Online available at <http://www.w3.org/TR/webont-req>

ISO (1994), *ISO 10303 Industrial automation systems*

- and integration - Product data representation and exchange - Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual, December 15
- ISO (2000), ISO 10303 Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 42: Integrated generic resource: Geometric and topological representation, September 1
- ISO/IEC (2002), ISO/IEC 13250 Topic Maps (Second Edition) - Information Technology Document Description and Processing Languages, May 19
- Kemmerer, S. (1999), STEP: The Grand Experience, *NIST Special Publication 939*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD
- Kern V. M. (1997), Maintaining Semantics In The Integration Of Network Interoperable Product Data Models, *Doctoral thesis submitted as a partial fulfillment of the requirements for a degree of "Doutor em Engenharia de Produção" at the Universidade Federal de Santa Catarina*, Brasil, Florianópolis, December
- Knutilla, A., Schlenoff, C., Ray, S., Polyak, S., Tate, A., Cheah, S. and Anderson, R. (1998), Process Specification Language: An Analysis of Existing Representations, *NIST Internal Report (NISTIR) 6133*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD
- Laurance, A. (1994), A High-Level View of STEP, *Manufacturing Review*, 7(1), 39-46
- Liu, M. Z., Lovett, P. J., Godwin, A. N. and Fletcher, E. J. (2000), Improving the intelligibility of STEP models for the construction industry, *Construction Information Technology 2000*. Reykjavik, Iceland, June 28-30
- Lubell, J., Peak, R., Srinivasan, V. and Waterbury, S. (2004), STEP, XML, and UML: Complementary Technology, *Proceedings of DETC 2004: ASME 2004 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, September 28-October 2, Salt Lake City, Utah USA
- Matuszek, C., Cabral, J., Witbrock, M. and DeOliveira, J. (2006), An Introduction to the Syntax and Content of Cyc, *AAAI 2006 Spring Symposium on Formalizing and Compiling Background Knowledge and Its Applications to Knowledge Representation and Question Answering*, March 27-29
- MESA (2004), Collaborative Manufacturing explained, *A MESA International White Paper*, Online available at <http://www.mesa.org>
- Mizoguchi, R. and Ikeda, M. (1996), Towards Ontology Engineering, *Technical Report AI-TR-96-1, I.S.I.R.*, Osaka University
- Nichols, D. and Terry, A. (2003), User's Guide to Teknowledge Ontologies, *Teknowledge Corp.*, Online available at http://ontology.teknowledge.com/Ontology_User_Guide.doc
- Noy, N. F. (2004), Semantic Integration: A Survey Of Ontology-Based Approaches, *Special Interest Group on Management Of Data (SIGMOD) Record*, 33(4), 65-70
- OMG (2001), Model Driven Architecture (MDA), *OMG, Document number: ormsc/2001-07-01*
- PDM Implementor Forum (PDM-IF) (2002), Usage Guide for the STEP PDM Schema (Release 4.3), *PDM Implementor Forum Information Document*, Online available at http://www.pdm-if.org/pdm_schema/pdmug_release4_3.zip
- Pratt, M. J. (2001), Introduction to ISO 10303 - the STEP Standard for Product Data Exchange, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 1(1), 102-103
- Roser, S. and Bauer, B. (2005), Ontology-based Model Transformation, *Proceedings of the ACM/IEEE 8th International Conference On Model Driven Engineering Languages And Systems (MoDELS/UML-2005) - Posters*, Montego Bay, Jamaica
- Schlenoff, C., Gruninger, M., Tissot, F., Valois, J., Lubell, J. and Lee, J. (2000), The Process Specification Language (PSL): Overview and Version 1.0 Specification, *NIST Internal Report (NISTIR) 6459*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD
- Semy, S. K., Pulvermacher, M. K. and Obrst, L. J. (2004), Toward the Use of an Upper Ontology for U.S. Government and U.S. Military Domains: An Evaluation, *MITRE Technical Report*, Online available at http://www.mitre.org/work/tech_papers/tech_papers_04/04_0603/04_1175.pdf
- Simpson, S. G. (1999), Logic and Mathematics, *The Examined Life: A Treasury of Western Philosophy*, Rosen, S. (Ed.), Book-of-the-Month Club, Online available at <http://www.math.psu.edu/simpson/papers/philmath.pdf>
- Smith, B. (2004), Beyond Concepts: Ontology as Reality Representation, *Proceedings of International Conference on Formal Ontology and Information Systems*, Turin, Italy, November 4-6
- Su, X. and Ilebrikke, L. (2002), A Comparative Study of Ontology Languages and Tools, *Proceedings of the 14th International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE 2002)*, Toronto, Canada, May 27-31
- Uschold, M. and Gruninger, M. (1996), Ontologies: Principles, methods and applications, *Knowledge Engineering Review*, 11(2), 93-155
- W3C (2004), OWL Web Ontology Language Overview, *W3C Recommendation*, February 10, Online available at <http://www.w3.org/TR/owl-features/>
- Wely, C. and Guarino, N. (2001), Supporting ontological analysis of taxonomic relationships, *Data & Knowledge Engineering*, 39(1), 51-74